

補助事業番号 2020M-200

補助事業名 2020年度 再生可能エネルギーを活用した農業用温調システムの開発 補助事業

補助事業者名 山梨大学 大学院総合研究部 工学域 鳥山研究室 鳥山孝司

1 研究の概要

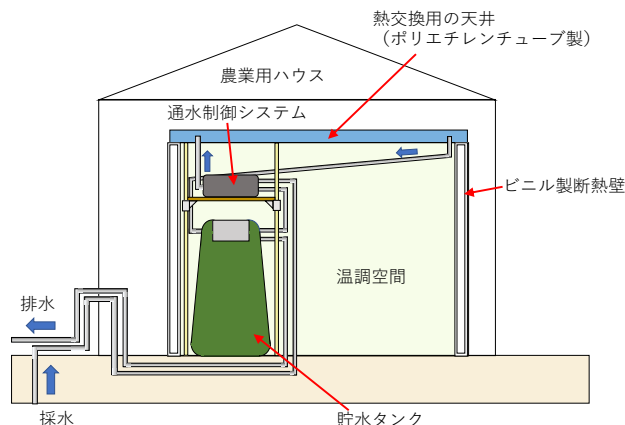
本事業は、農業用ハウス内に農作物を育成する温調空間を設置し、その温調に対して年間を通してほぼ一定な温度である地下水を用いて夏場の冷却、冬場の加熱を行うものである。なお、その温調空間の天井にはポリエチレン製の流路を用いた熱交換パネルを設置し、そこに直接地下水を通水することで、ヒートポンプを必要としない低ランニングコストの温調システムとなる。具体的には、(1)地下水を通水するのみでの夏場の冷却、冬場の加熱実験、(2)再生可能エネルギーを活用したランニングコスト削減のための取り組みを実施した。

2 研究の目的と背景

トマトやきゅうりといった農作物は、年間を通して販売されているが、これらの農作物には旬があるため、農家らは農業用ハウスを用いた露地栽培に、重油による暖房(冬場)や電気による冷房(夏場)を併用することで年間を通して栽培している。この温調コストは比較的大きく、農作物の高騰の原因にもなっている。例えば、トマト栽培を例に挙げると、農業経営費に対する光熱動力費は夏場は約10%、冬場は約20%を占めるものであり、この削減方法に対して地中熱ヒートポンプを用いるなど、様々な取り組みが行われている。しかしながら、比較的効率の良い地中熱ヒートポンプでさえ、その割合を半分に削減する程度の効果しか認められていない。そこで、年間を通してほぼ一定な温度である地下水を熱源として用いる温調システムを開発し、従来手法よりも圧倒的にランニングコストの低い温調を実現することを目的とする。

3 研究内容 (<http://www.me.yamanashi.ac.jp/lab/toriyama/>)

本事業は、山梨大学構内に農業用ハウスを含む本システムを構築し、夏場の冷却、冬場の加熱能力について評価するものである。これは、再生可能エネルギー(太陽熱集熱器による温水や太陽光発電パネルで得られる電力)を利用するものであるが、初年度は、右図に示すような地下水を通水するのみのシステムの構築を行い、冬場の加熱実験を実施した。



本システムの概要図

2年目は、太陽熱集熱器及び太陽光発電パネルの導入を行い、冬場の加熱時への効果や使用電量の削減などについて取り組んだ。ただし、コロナ禍の都合上、太陽熱集熱器の納入が遅れたため、こちらの内容に関しては積



導入された太陽熱集熱器及び太陽光発電パネル

み残しの課題となっている。また、圧縮機を導入し、地下水と共に圧縮空気を同時に送り込むという圧縮空気同時注入法による温調能力の改善についても実施した。

以下に本研究で得られた結果について述べる。

(1) 地下水のみを通水することによる温調性能評価(冬場の加熱試験)

本システムでは、貯水タンクを設けて通水する地下水を循環式として構築したので、日中に循環している水が加熱され、貯水タンクに温水として蓄えられることが確認された。また、その温水により、夜10時までは地下水よりも高い温度の水をポリチューブに通水し続けることができ、それまでの時間は夜間であっても高い温度を保つことができた。なお、地下水温を下回る際には、地下水の通水に切り替えることで、より高い温度に保ち易いことも明らかとなった。一方で、日中に通水することにより、日中に高すぎる温度とならないように、適切な冷却効果もあることが確認された。

(2) 地下水のみを通水することによる温調性能評価(夏場の冷却試験)

夏場の日射量が非常に強いこともあり、その冷却効果はさほど感じられない状況であった。しかしながら、実際の冷却量の評価を行った結果、太陽光照射による加熱量の数割程度を冷却できることが確認されており、十分な冷却を行うためには一般的な冷房を併用する必要があることが分かった。一方で、本システムを利用することで、その冷房のランニングコストの削減につながることも明らかとなった。

(3) 再生可能エネルギーを活用した温調性能評価試験

発電能力評価試験として、発電に強い影響力を与える日射量と太陽光発電パネルの表面温度の計測を行った結果、太陽光発電パネルの表面温度はおよそ73℃まで上昇し、著しく電気変換効率が減少することが分かった。ヒートポンプ付きの太陽熱集熱器の納入がコロナ禍の関係もあって大幅に遅れて3月となったこともあり、本システムの実際に全体を稼働させた際の電力消費量が確認できなかったため、必要な電力量を賄うための太陽光発電パネルの設置面積の算出は行えてはいないが、今後継続して研究を

進め、それらの値も明らかにする予定である。

圧縮空気同時注入法を導入して冬場の加熱実験を実施した結果、圧縮空気無しの場合と比べて、一日の温度変化が小さくなることが確認された。また、その改善割合は20%程度であった。夏場の冷却などへの効果などについては今後も研究を進めてくことを予定している

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究は再生可能エネルギーを活用して育成空間の温調にかかわるランニングコストを大幅に低減させるものであり、化石燃料の使用量が大幅に減らせるため、環境にやさしいシステムである。これは現在注目されているSDGsに貢献する物であり、今後の展開が大きく期待される。この研究がさらに進み、外部エネルギーをほとんど必要としない形での温調が実現できれば、将来的必要不可欠な温調システムとなると期待される。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

これまで、熱エネルギーの有効利用について研究してきており、地下水を熱源とする農業用温調システムについて実験室内での取り組みを行ってきた。本補助事業では、実際に農業用ハウスを建て、その中に本システムを構築して評価するといった実証実験であり、実験室内での取り組みでは分からなかった多くの問題点などが確認できている。今後もこれらに対して研究を進め、農場での大規模実証実験に繋げていくことを予定している。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

(1)学会発表(国際学会)

1. Kyosuke Wakishima, Koji Toriyama, Heating performance evaluation of recirculation type air conditioning system using underground aquifer for greenhouse in winter, International Conference on Power Engineering-2021, 2021, ICOPE-2021-0256, Online

(2)学会発表(国内)

1. 脇島 京介, 鳥山 孝司, 通水型熱交換パネルの簡素化に伴う農業用育成空間の温調能力に関する研究, 熱工学コンファレンス2020, 2020, I123, オンライン開催
2. 脇島 京介, 黒木 翔立, 鳥山 孝司, 冬季における地下水を利用した農業用空調システムの暖房性能, 第58回日本伝熱シンポジウム, 2021, BPA1438, オンライン開催
3. 鳥山 孝司, 脇島 京介, 地下水を冷熱源とする温室農業用空調システムの冷却能力に関する研究, 日本機械学会関東支部第28期総会講演会, 2022, 15F05, オンライン開催

4. 大島 拓, 鳥山 孝司, 水を用いた農業用空調システムの性能向上に関する研究, 第59回日本伝熱シンポジウム, 2022, BPA1405, 長良川国際会議場

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

鳥山研究室ホームページ

<http://www.me.yamanashi.ac.jp/lab/toriyama/> (URL)

第58回日本伝熱シンポジウム (ポスター)

BPA1438 日本伝熱学会 伝熱シンポジウム2021

冬季における地下水を利用した農業用空調システムの暖房性能

脇嶋 京介* 黒木 翔立 鳥山 孝司 (山梨大)

目的 | 施設園芸の問題点とその解決策

通年で野菜等を栽培する施設園芸では**20~40%以上の光熱費がかかっている**。
そこで我々は**地下水の持つ熱エネルギーを利用して低ランニングコストで暖房を行なう技術を開発した**。
なおこの技術は、他の再生可能エネルギーに比較して導入コストが小さいという特徴がある。
本研究では更なる低ランニングコスト化を狙い、循環式での暖房能力を検証することを目的とする。

実験装置・実験概要

本実験は、厳冬期の1~2月下旬に行なった。
計測パラメータは、室内の絶対温度と地中の温度、
通水する水の温度、WBGTである。
加えて、農作物の育成に必要な
日射への影響を検討するため、日射量も計測した。

Structure of experimental apparatus

結果・考察

温度に関する結果

Transient temperature and WBGT from Jan.28th to 30th, 2021

夜間の室温に着目すると**外気温が氷点下**を
下回る環境下でも**5°C程度に維持できている**。
しかし、**水温が地下水の水温を下回っている**。

温度に関する結果

Temperature transition using aquifer on Jan.31th, 2021

夜間にのみ地下水を汲み上げて
実験を行なったところ、**3~4°C暖かい
室温を保つことができた**。

夜間に地下水の通水を組み入れる方が
高い暖房能力を実現できる。

日射量の低減に関する結果

晴天日における空調室内での日射量は、屋外の
23.7%(平均)であった。この値は、農業用ハウスの天井で
減少する日射量も含んでいるため、今後は本空調システム
のみの日射の減少量を明らかにする予定である。

Transient insolation intensity on Feb.20th, 2021

まとめ

本研究により、地下水を通水するだけで氷点下を下回る夜間でも室内温度を
5.0°C程度以上に維持することができた。同時に、循環水だけの通水では夜間の暖房性能が
下がることわかったため、地下水と循環水を切り替える機構を備える必要性も明らかになった。

謝辞

本研究はJKA競輪(2020M-200)の補助を受けて実施しました。

第59回日本伝熱シンポジウム (ポスター)

地下水を用いた農業用空調システムの性能向上に関する研究

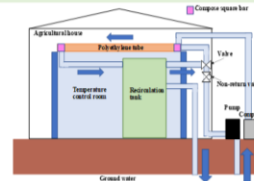
大島拓 鳥山孝司 (山梨大)

研究背景

従来の施設園芸のランニングコストは非常に高額であるとともに、環境への負荷が大きい。そのような背景から地下水を熱交換器に通水し、熱源として利用する空調システムを開発した。また、熱交換器に地下水と圧縮空気を同時に注入することで暖房性能を向上させられるという可能性が確認されている。本研究は、屋外に構築した実証実験施設にこの手法を適用し、温熱環境の暖房性能への効果を評価することが目的である。

実験装置・実験概要

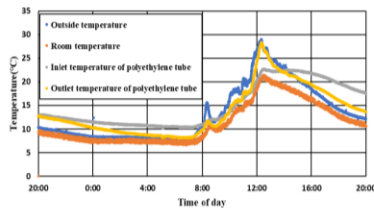
右図は本研究で使用する実験装置の概略図である。再循環タンクから送られた水と、コンプレッサーからの圧縮空気を天井部の熱交換器に同時に注入し暖房を行う。計測パラメータは、外気温、空調室温、流入出水温、通水量であり、水温差と通水量をもとに、地下水がシステムに加えた熱量を算出する。



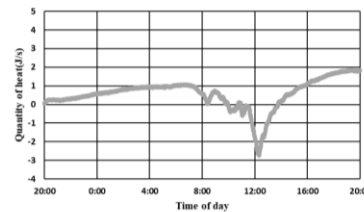
Structure of experimental apparatus

結果・考察

夜間は空調室温と外気温がほぼ同じ温度であり、日中になると空調室温、外気温ともに上昇するが空調室温のほうが上昇幅が小さいのが分かる。熱の移動を見ると夜間は空調室内に熱を加えているが、日中は空調室から熱を奪っている。これより、システムを稼働することで空調室内の温度を平坦化することができているとわかる。しかし、夜間に熱を加えているのに対し空調室温が外気温を下回っているため、実際の温度より低く計測されている可能性がある。



Air and water temperature



Quantity of heat

まとめ

過去のデータと今回のデータを無次元温度で比較したとき、空気注入なしの時よりも空調室内の温度がより平坦化され、その割合は20%程度の向上であった。空調室内の温度が実際より低く計測されてしまっている点については今後改善すべき課題である。

謝辞

本研究はJKA競輪(2020M-200)の補助を受けて実施しました。

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

山梨大学SDGs持続可能な未来のために！

https://www.yamanashi.ac.jp/yamanashi_sdgs/37273#sdg_top_menu (URL)

国立大学55工学系学部ホームページ 環境への取り組み

<https://www.mirai-kougaku.jp/eco/pages/210326.php> (URL)

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 山梨大学工学部(ヤマナシダイガクコウガクブ)

住 所: 〒400-8511

山梨県甲府市武田4-3-11

担 当 者: 准教授 鳥山孝司(トリヤマコウジ)

担 当 部 署: 機械工学科(キカイコウガクカ)

E - m a i l: toriyama@yamanashi.ac.jp

U R L: <http://www.me.yamanashi.ac.jp/lab/toriyama/>